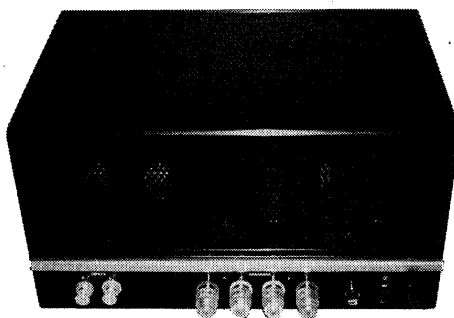


# 電圧段1段増幅方式 MOS-FET 30W

柴田由喜雄



## 1. はじめに

自作アンプコンテストに参加し始めて今回が5回目になりました。すべてが1段増幅アンプです。

私にとって1段増幅アンプは、7年程前に、今回のコンテストでも最優秀アンプとなった田川氏のアンプと同種のおペアンプ流とも言える初段定電流負荷の試作アンプ(図1)からヒントを得て製作したのが始まりでした。2段目差動アンプトランジスターの入力をベースからエミッターに変えただけのことです(図2)。ほんの少し後に同種の回路が高速オペアンプにあることを知ったのですが、以前から多くの製作実績のあるA級DCパワーアンプへの適用を手始めに、これまで数多く製作してき

ました。歪率も比較的低い値におさまリ、音質もまったく問題ないものでした。

そして、その増幅理論、使用素子の選択、高域補償方法など、独断と偏見ながら自分で測定と考察を加えるうちに、深みにはまってしまったようです。

しかし、金田氏があれほど長く差動2段抵抗負荷アンプにこだわったことを考えると、1段増幅アンプはまだ序の口かもしれません。宮崎氏が4月号で「固定化している」と評しているのですが、納得するのにそれだけの時間がかかったわけです。いや、もう少ししかかると思います。

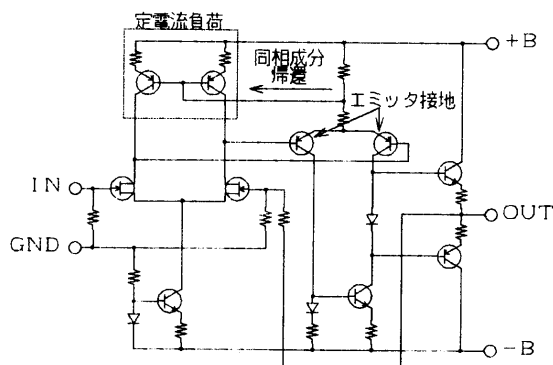
## 2. ふたたび MOS-FET

いま、私の測定器棚の端にMOS-

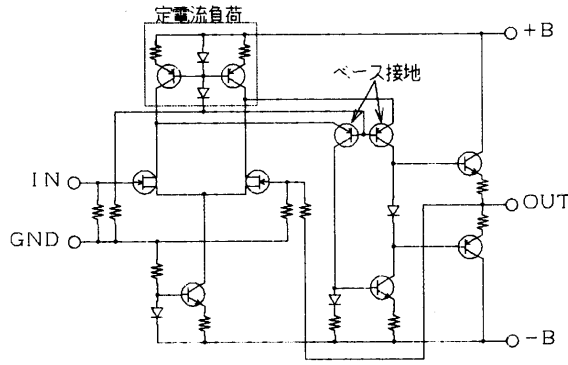
FET パワーアンプがあります。測定器として使っています。丁度測定に都合が良いように、リアパネルが前を向いているのですが、1978年2月製作とレタリングしてあります。

実は、そのパワーアンプは失敗作だったのです。日立のHMA9500が出て、私もMOS-FETアンプをと考えたのですが、当時の市販のMOS-FETコンプリ(2SK134/2SJ49)はそのマッチングがひどいものでした。まったく揃わないのです。クズ石を使ったものはクズアンプしかできないと言う話もあるのですが、最初で最後のMOS-FETアンプと思いつつ、とりあえず差動2段カレントミラー負荷で製作したのがそのアンプなのです。

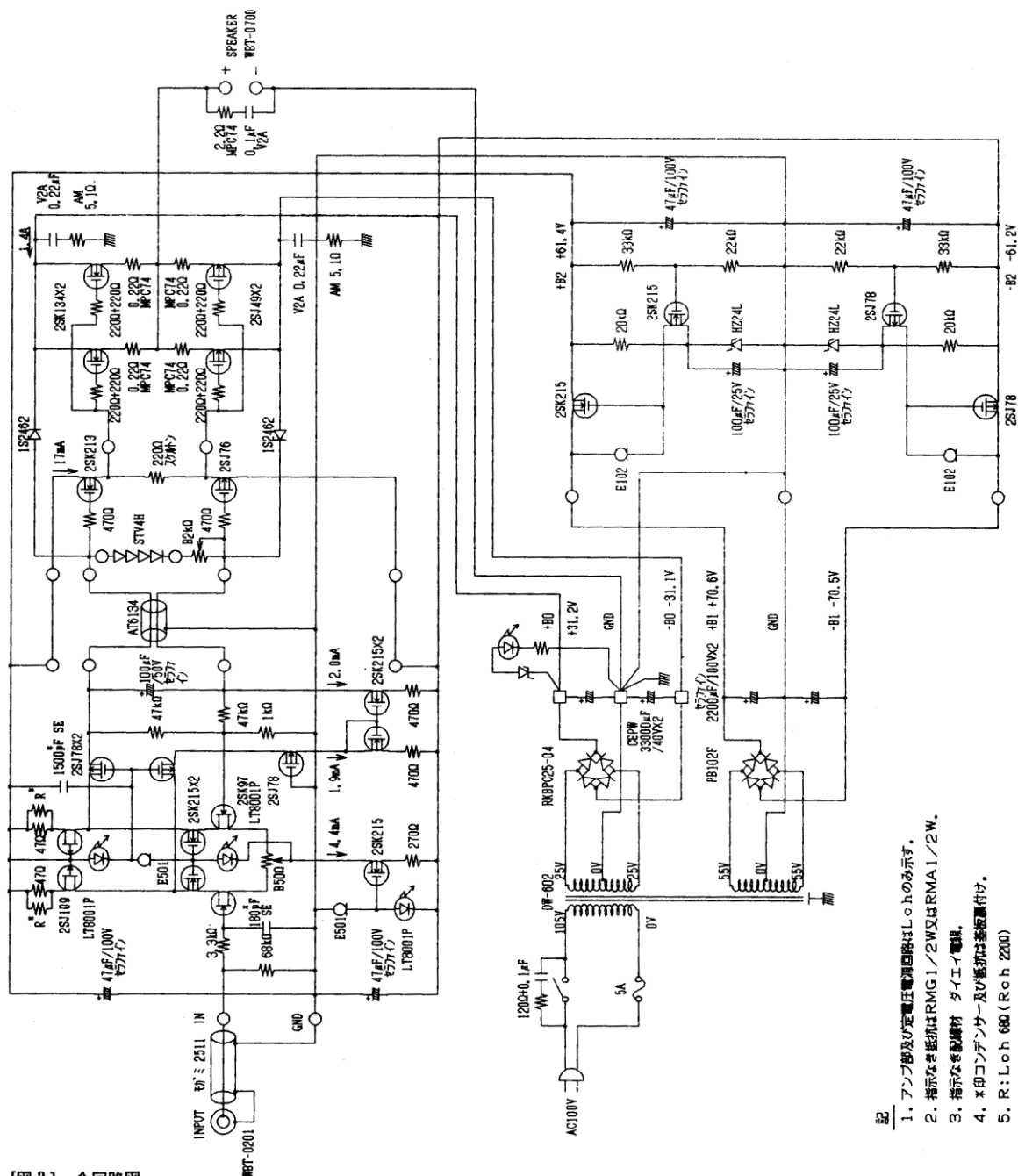
ところが、最近再びMOS-FET



【図1】 初段定電流負荷アンプ



【図2】 1段増幅アンプ



【図3】 全回路図

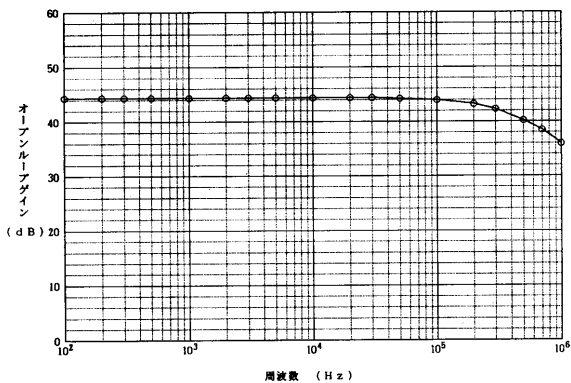
アンプが流行しているので、秋葉原で半ば冗談のつもりで同じ 2SK134/2SJ49 を購入してみると、コンプリの特性がそこそこに揃っていたのです(必要最低限数を購入しました)。その時、正直なところ、MOS-FET アレルギーも少し取れ、気分的に楽

になった気がしたのです。勿論、コンプリであっても、依然、 $I_D$  の非線形性は強く残っているので歪みが多いことに変わりはありません。

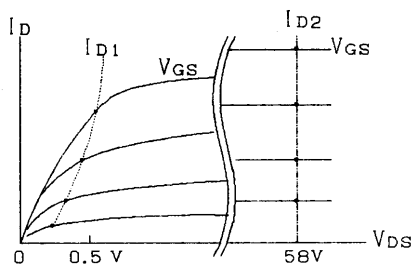
そういったことで、再度 MOS-FET アンプを製作することにしました。

MOS-FET コンプリには、窪田氏が推奨しているトランジスター的な特性を持つ 2SK405/2SJ115 を始め、他にもいろいろな品種がありますが、私は迷わず 2SK134/2SJ49 としました。それはこの石が典型的な MOS-FET であるからです。今回

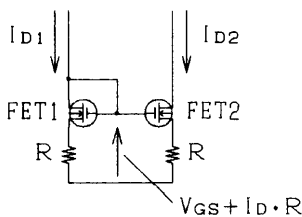
- 記
1. アンプ部及び定電圧電源回路は Loh のみです。
  2. 指示なき抵抗は RMG 1/2W 又は RMA 1/2W。
  3. 指示なき容量材 ダイエー電線。
  4. \*印コンデンサー及び抵抗は差配図付。
  5. R: Loh 680 (Roh 2200)



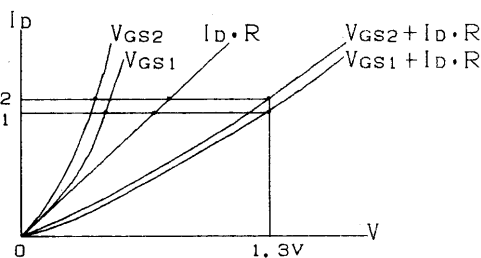
【図4】  
オープンループ  
ゲイン



(a)



(b)



【図5】  
MOS-FET  
カレントミラー  
回路の動作点

は、歪率などの数字は2の次として、もう一度MOS-FETの香りを味わうことを狙いとしてしました。

### 3. そしてオールFETアンプ

本機の全回路図を図3に示します。

電源部やアンプ部など動素子にはすべてFETを使用しています。

これまで製作してきたトランジスター主体の1段増幅アンプと比較す

ると、本機で特に留意した点は3つで、以下、順に説明します。いずれもトランジスターからMOS-FETへの変更に関するものです。

1つは、ゲート接地の電圧増幅段です。

電圧増幅段は、実は1段増幅アンプ製作の初期からトランジスターとMOS-FETの両方で検討してきました。これまでMOS-FETを

使わなかったのは、その外観によるだけのことです。2SK215/2SJ78はいかにも放熱器に取り付けて使う外観をしています。パワー段ドライブにふさわしい石を電圧増幅段に使うということに若干の抵抗を感じたからです。

一般に1段増幅アンプは歪率が多くなる傾向にあります。そこで、なんとか歪みを下げようと、電圧増幅段でMOS-FETを試していたのです。意外と思うかもしれませんが、概して、電圧増幅段の負荷が軽い場合（例えば3段ダーリントンで受ける場合）は、電圧増幅段にMOS-FETを使った方が、オーバーオールNFBをかけると多少歪が小さくなるのです。ドレインに純抵抗などの負荷がない場合は、トランジスター使用ではコレクター遮断電流 $I_{CO}$ に基づくコレクター出力抵抗 $r_c$ が、また、FET使用ではチャンネル抵抗 $r_{DS}$ が次式に示す $r_c$ となるわけですが、おそらく印加電圧が大きい場合は $r_c < r_{DS}$ となっており、MOS-FETの方が裸ゲインが大きくなるためと考えています。

1段増幅アンプのDC裸ゲインは、

$$A_{DC} = g_m' \cdot r_c$$

$g_m'$ : 初段FETの相互コンダクタンス

$$g_m' = \frac{g_m}{1 + g_m \cdot R_S}$$

$r_c$ : 電圧増幅段の負荷インピーダンス

と表されます。本機では、負荷は純抵抗負荷(47/2kΩ)としていますので、 $r_c$ はほぼその抵抗値となり、DC裸ゲインは初段のFETの品種( $g_m$ の大きな)のみによって決まります。よって、本機では電圧増幅段をMOS-FETとしても、またトランジスターとしてもほとんど裸ゲインは変わりません。図4に電圧増幅段のオープンループゲイン実測値を示します。DC裸ゲインは44.5dB、カットオフ周波数は400kHzです。

仕上がりゲインが 27.8dB ですので、16.7dB の NFB がかかります。

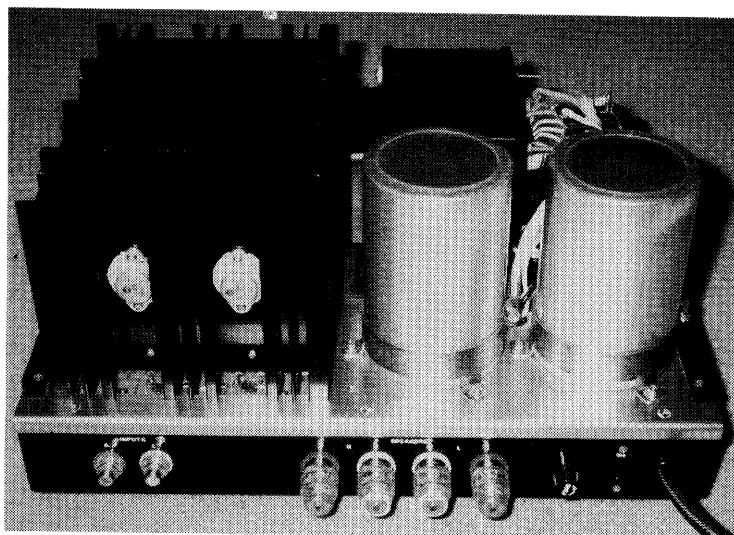
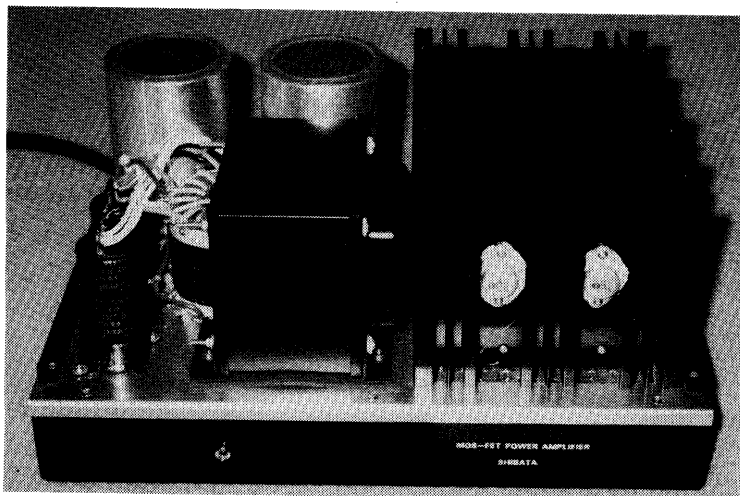
2つ目の留意点は、カレントミラー回路に MOS-FET を使った点です。

通常、カレントミラー回路は、一旦ダイオード（あるいはトランジスタのベースとコレクターを短絡したもの）と抵抗によって電流-電圧変換をし、再びエミッターに電流帰還が強くなったエミッター-接地回路で電流に戻す構成がふつうのやり方です。

本機のように MOS-FET を使った回路は私は見たことがありませんが、いろいろ実験してみると十分使えることが分かりました。図 5 に示すように、FET の場合はトランジスターに比べ概して肩特性がなだらかになります。従って直流動作点は、(a) で、FET 1 では波線のごとく変化するのに対し、FET 2 では 1 点鎖線のように変化し、同じ  $I_D$  では FET 1 の方が少し  $V_{GS}$  が大きくなります。しかし、実際には  $R$  によって電流帰還がかかるため、(b) のように  $I_D$  の相違はかなり小さくなります。しかも、負荷インピーダンスをある程度大きくすれば、 $I_D$  動作範囲は動作点回りの小さい範囲となり、まったく問題なく動作します。本機では  $I_{D1}=1.9\text{ mA}$ 、 $I_{D2}=2\text{ mA}$  となりました。なお、カレントミラー回路に局部帰還を用いればこのような問題は一挙に解決されるのですが、能動素子が増加するので止めることにしました。

3つ目の留意点は、終段 MOS-FET の前にもう 1 段 MOS-FET をダーリントン接続したことです。

本機では、終段の MOS-FET は放熱器に取り付け、電圧増幅段はやや離れたプリント基板に位置するので、その間のゲート配線が長くなってしまいます。そこで、終段 MOS-FET のすぐそばにドライブ用の MOS-FET を追加することにした



本機の外観

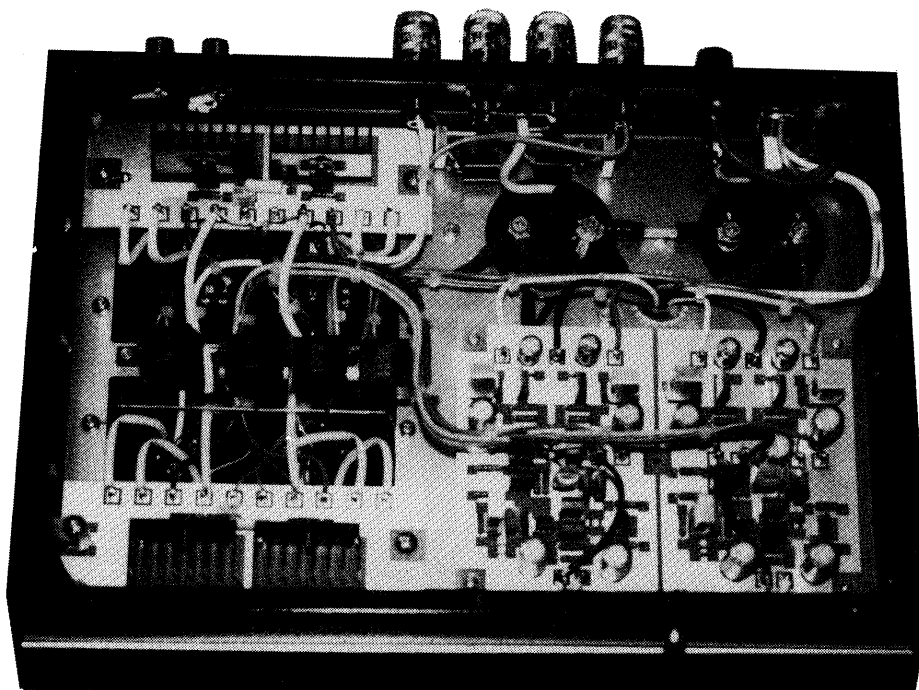
のです。参考までに、ドライブ用 MOS-FET が無いと、2SK134 の  $C_{rss}$  10pF $\times$ 2, 2SJ49 の  $C_{rss}$  40pF $\times$ 2, そして配線の  $C$  50 pF くらいを見込んで、計 150pF 程の  $C$  を駆動する事になります。2mA (初段 FET 動作電流=電圧増幅段動作電流) $\times$ 2=4mA の駆動能力ではギリギリのところでしょう。

#### 4. 最小限の部品をうまく配置する

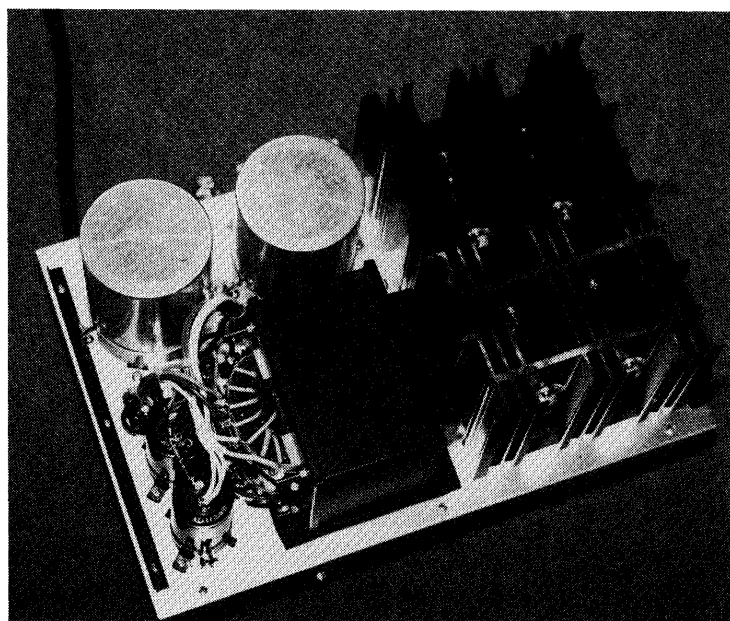
少し贅沢かもしれませんが、使用部品には音質が良いと言われている

ものを使用しました。1/2 W 抵抗は RMG または RMA, 小容量  $C$  は SE, 小容量ケミコンはエルナーセラファイン, 整流器はファーストリカバリーダイオード, 配線材はダイエー電線, 入出力端子は WBT などです。

電圧増幅部と定電圧電源部関係はプリント基板で処理し、終段 MOS-FET ダーリントンは放熱器近傍に配置しました。私は、小電圧を扱う部分と大電流を扱う部分はシャシー内で必ず離すようにしています。特に、パルス性ノイズを大量に発生さ



シャーシ裏の配線



上面配置

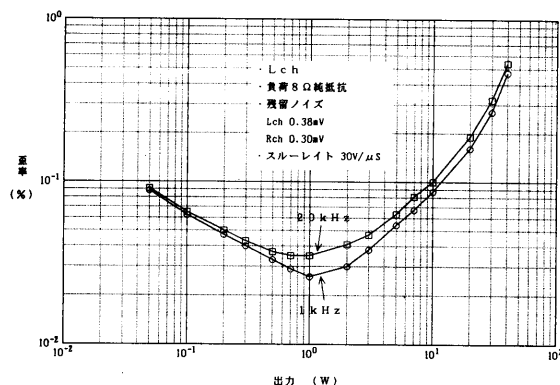
せるトランス～整流器間配線はまずは離すことから始めるべきです。

パソコンの使い方ですが、最近では超高频のインピーダンスを下げるために、ケミコンにフィルムコンデンサーを抱かして使う例が多いのです

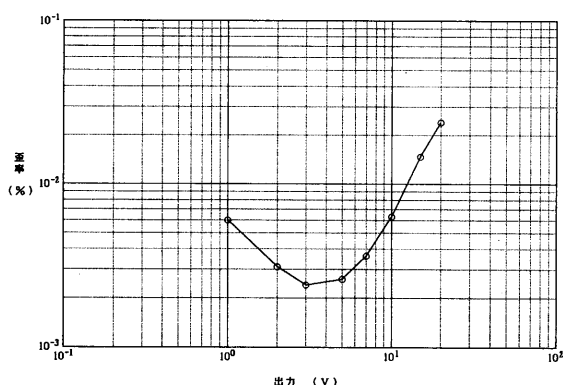
が、配置と配線に注意すればその必要性は低いのではないかと考えています。良質なコンデンサーを選び、外乱が入りにくいように配置、配線する事が重要です。むしろ、大容量ケミコンと小容量フィルムコンデン

サーの不用意な組み合わせは一種の共振をおこしますので注意が必要です。アナログオーディオは、周波数特性さえ延びていれば事足りる通信機器とは違います。

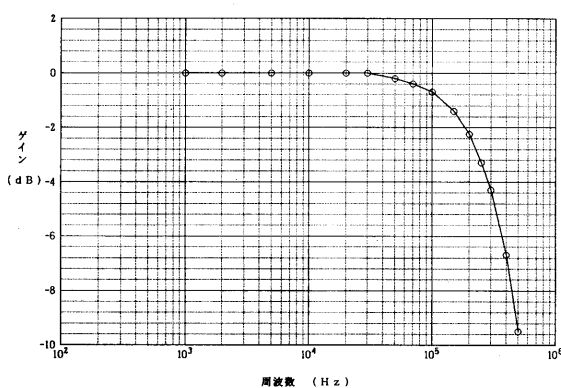
MOS-FET のドレインとシャシ



【図6】歪率特性



【図7】電圧増幅段の歪率特性



【図8】  
周波数特性

一問には、 $0.22\mu\text{F}$  のコンデンサーを入れてあります。これはできれば省略したかったのですが、超高域の発振防止にかなり有効なので入れました。ただし、直列に抵抗を入れて共振をダンピングしています。なお、超高域の発振についてですが、MOS-FET は電流が増えるにつれ、発振の可能性が大きくなる傾向にあるようです。本機はA級ですので、設計値 ( $1.4\text{A}$ ) よりも相当多めの電流を流して発振の有無を確認しました。

## 5. 本機の特性

図6に歪率特性を示します。さすがに、バイポーラトランジスタ出力段の時と比べると倍増しています。終段 MOS-FET の非線形性によるものです。電圧増幅段の歪 (図7) は1ケタ小さい量となっています。

図8に周波数特性を示します。入

力部のフィルター (CR) を加減して、 $\text{DC} \sim 230\text{kHz}$  ( $-3\text{dB}$ ) に仕上げています。

図9にダンピングファクターを示します。20という値は、計算値  $8/[1/g_m + 0.22]/4 = 26$  とほぼ一致しています。

図10にクロストーク、図11にアイドル電流変化、図12にDCドリフトを示します。

スループットは  $34\text{V}/\mu\text{s}$  です。

残留ノイズは  $0.4\text{mV}$  です。やや大きいのは、終段 MOS-FET の静特性 ( $V_{DS} \sim I_D$  特性,  $V_{GS}$  一定) で、電源リップル ( $V_{DS}$  変動) に対して、NチャンネルとPチャンネルの  $I_D$  変動の相殺 (コンプリ) が十分でなかったことによるものです。

## 6. 本機の音質

本機は、紙数の都合で述べません

でしたが、超高域の安定性に特に重点を置いて設計しました。SP端子に多少のC負荷がぶら下がってもまったく動じません。しかし、それが直ちに音質の良い評価につながらないのが不思議なところであり、おもしろいところです。

勝手ながら、数字データと突き合わせて本機から出た音の傾向を私なりに考察すると、

a) ダンピングファクターが20と低いため、「重たいSP」では中域が張り出し、相対的に低域が軽くなる。したがって、ボーカルやピアノがうまく出る反面、圧倒的な迫力が出にくい。

b) 高域の安定性を良くし、しかも入力にハイカットフィルターを入れたため、高域の制動が安定し、あばれ感が少なくなった。一聴すると、高域を抑えた、丸い感じに聞こえる。

c) MOS-FET を用いたため (歪みがやや多めであるので) 全般的に固めな音になる。

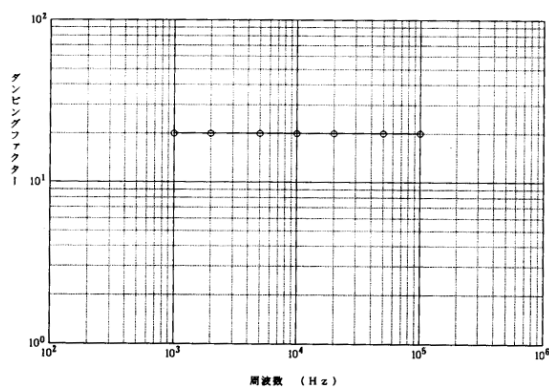
といったところでしょうか。

参考までに、関係者の意見は、

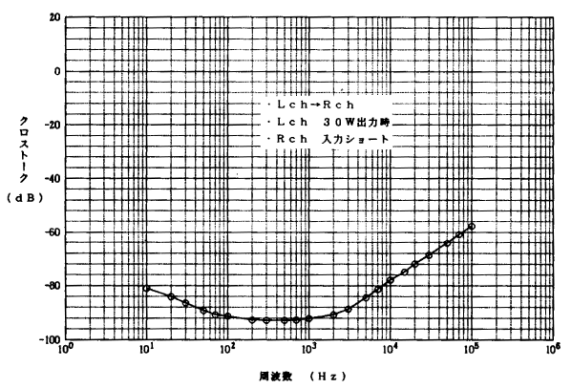
d) 「ボーカルが良い。ピアノの印象が特に良かった。」 (宮崎氏)

e) 「口を開く感じくっきり出る。バランス良。やや平板。低域のレンジやや狭い。」 (MJ, 中澤氏)

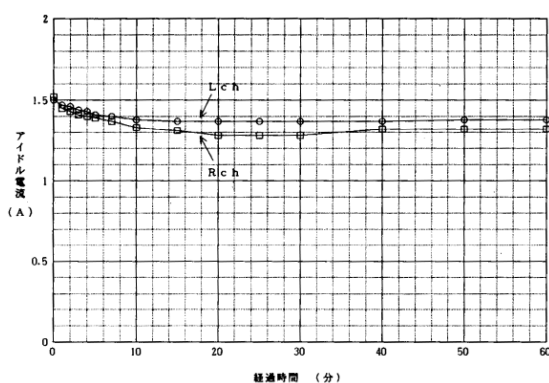
f) 「ペールを透かしているような音、もう少しツヤが欲しい。オーケ



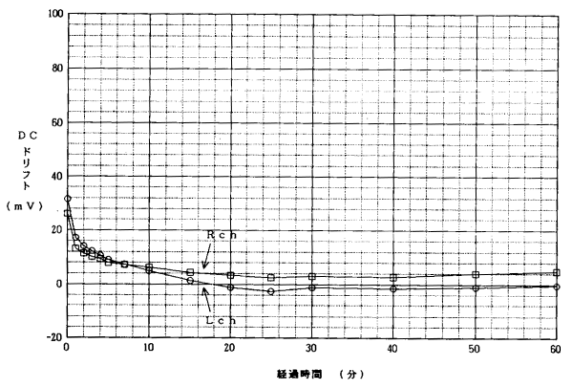
【図9】 ダンピングファクター



【図10】 クロストーク特性



【図11】 アイドル電流の安定性



【図12】 DCドリフト特性

ストラ、ボーカルはまずまず、弦が  
苦しい。トランペットの明るさが出  
ない。ハムノイズがある。」(筆者友  
人、本田伸氏)  
というものでした。

## 7. おわりに

今回の MOS-FET パワーアンプ

は、ある意味では実験的色彩が強く、  
パワーも私にとっては小さめの 30  
W としました。しかし、今回のコ  
ンテストで 10W にも満たないアン  
プが音質評価の対象になり得た事実  
には驚いています。数 100W のアン  
プはいったい何だろうと考え込んで  
しまいます。

来年も自作アンプコンテストに参  
加を予定していますのでご期待(?)  
下さい。

参考 (1 段増幅アンプ記事)

- 1) MJ 1990/7 p.148~158 プリアンプ
- 2) MJ 1991/2 p.126~134 パワーアンプ
- 3) MJ 1992/4 p.149~155 パワーアンプ
- 4) MJ 1993/4 p.122~129 プリアンプ